

# **Влияние размера выборки на результаты радиоэкологических исследований.**

**Белов А.А., Белов А.Н.**

The results of statistical analysis of  $^{137}\text{Cs}$  specific activity in the wood and in the bark of 50 pine trees are discussed. The conclusion is made that the amount of experimental trees negatively influence on correlation indexes because of aggregative distribution of radioactive pollution of soil.

Одной из ключевых проблем лесной радиоэкологии является выявление пространственно-временных закономерностей миграции и перераспределения радионуклидов по компонентам экосистем. Материалы исследований в рамках данного направления являются основой для определения интенсивности миграционных потоков радионуклидов в биогеоценозах.

К настоящему времени известно, что удельное содержание  $^{137}\text{Cs}$  в древесине зависит от погодных условий, влажности, химического и физического состава почвы, физиологического состояния и таксационных параметров деревьев, места отбора проб древесины и коры и т.д. При прочих равных условиях содержание радионуклида в древесине и коре деревьев лучшего физиологического состояния, как правило, существенно выше, чем у деревьев с замедленным ростом и слабо развитой кроной [3]. В связи с этим, в частности, при радиационном обследовании лесосек рекомендуется проводить отбор проб древесины из нижней части стволов и на  $3/4$  высоты стволов деревьев деловой качественной категории 1 класса роста по Крафту [2]. В то же время в ряде публикаций отмечается отсутствие достоверной зависимости удельного содержания радионуклидов в структурных элементах деревьев от их индивидуальных характеристик.

Нами проведен анализ влияния особенностей статистической обработки полевых материалов на достоверность выявляемой зависимости удельного содержания радионуклидов от таксационных параметров деревьев. Предметом исследования был размер выборки. Фактическим материалом послужили данные измерений удельной активности (УА)  $^{137}\text{Cs}$  в пробах древесины и коры, отобранных на высоте 1,3 м и  $3/4$  длины ствола 50 деревьев сосны, приведенные в работе А.В.Богачева с соавторами [1]. Средний диаметр ствола модельных деревьев на высоте 1,3 м равен  $40,0 \pm 0,7$  см, средняя высота –  $23,5 \pm 0,3$  м, протяженность кроны –  $10,4 \pm 0,4$  м. Соотношение деревьев разного физиологического состояния по результатам визуального осмотра оказалось следующим: 13 деревьев I-го, 18 – II-го, 16 – III-го и 3 – IV-го класса.

Оценивалась значимость статистической связи УА  $^{137}\text{Cs}$  с диаметром ствола, высотой дерева, средним сбегом ствола, протяженностью кроны и классом физиологического состояния. На первом этапе анализа были рассчитаны значения коэффициента корреляции УА  $^{137}\text{Cs}$  и каждого из указанных таксационных параметров при размерах выборки от 10 до 50 единиц учета (деревьев), отдельно для древесины и коры на каждом из двух высотных уровней. В начальную выборку включены результаты измерений для первых 10 деревьев из перечетной ведомости. Последующие выборки формировались за счет последовательного, пошагового добавления данных по остальным деревьям; каждая новая выборка была на 5 единиц учета больше предыдущей. Сформированные таким образом выборки можно определить как систематические.

Анализ результатов корреляционного анализа показал, что качественная характеристика зависимости (прямая или обратная связь), как правило, сохранялась при любом размере выборки. Так, связь УА  $^{137}\text{Cs}$  с высотой дерева и протяженностью кроны характеризуется отрицательными значениями коэффициента корреляции и в отношении древесины, и в отношении коры на обоих высотных уровнях при всех размерах выборок. Влияние среднего сбega ствола на УА  $^{137}\text{Cs}$  можно характеризовать как положительное для древесины на обоих высотных уровнях и для коры на высоте  $\frac{3}{4}$  длины ствола и как отрицательное для коры на высоте 1,3 м. Точно так же связь УА  $^{137}\text{Cs}$  с диаметром ствола и классом физиологического состояния в отношении древесины для обоих высотных уровней имеет положительные значения коэффициента корреляции во всех случаях. Для коры на высоте 1,3 м для всех размеров выборок выявлена отрицательная связь УА  $^{137}\text{Cs}$  с диаметром ствола и положительная с классом физиологического состояния. Имеющиеся единичные несовпадения знаков при коэффициенте корреляции (3 из общей совокупности в 180 выборок) относятся к случаям фактического отсутствия статистической зависимости ( $r < 0,3$ ): для связи УА  $^{137}\text{Cs}$  в коре на высоте  $\frac{3}{4}$  длины ствола с диаметром ствола и классом физиологического состояния деревьев.

Относительно высокими показателями ( $r > 0,3$ ) характеризуется связь УА  $^{137}\text{Cs}$  со средним сбегом ствола (для древесины на обоих высотных уровнях), высотой дерева (для древесины и коры на высоте 1,3 м), а также с диаметром ствола, протяженностью кроны и классом физиологического состояния (для коры на высоте 1,3 м). Как видно из таблицы 1, для большей части этих зависимостей характерно уменьшение абсолютной величины коэффициента корреляции при увеличении размера выборки. Особенно ярко данная тенденция проявляется для зависимости УА  $^{137}\text{Cs}$  в коре на высоте 1,3 м от протяженности кроны и в древесине на высоте 1,3 м от среднего сбega ствола (коэффициент корреляции последовательно уменьшается: соответственно с -0,642 до -0,141 и с 0,417 до 0,338 при увеличении размера выборки с 10 до 50 деревьев). Статистическая связь УА  $^{137}\text{Cs}$  в древесине на высоте  $\frac{3}{4}$  длины ствола от среднего сбega ствола является единственной, для которой коэффициент корреляции колеблется безотносительно изменения числа проанализированных деревьев.

При обсуждении полученных результатов следует исходить из того, что модельные деревья в перечетной ведомости перечислены в порядке последовательного отбора проб при полевых работах, и близость номеров деревьев в ведомости в значительной мере характеризует их относительную территориальную близость на пробной площади. В таком случае отмеченная тенденция к уменьшению значений коэффициента корреляции при увеличении объема выборки может быть обусловлена, во-первых, возрастающими техническими ошибками измерения таксационных параметров и отбора проб древесины и коры с течением времени из-за возрастающей физической усталости и потери концентрации участниками полевых работ, а во-вторых, изменчивостью загрязнения локальных участков почвы, влекущей значительную вариабельность удельного содержания  $^{137}\text{Cs}$  в древесине и коре деревьев с одинаковыми таксационными показателями, но расположенными в разных точках пробной площади.

Таблица 1

**Показатели зависимости УА  $^{137}\text{Cs}$  в древесине и коре сосны от таксационных параметров деревьев при систематическом отборе проб**

| Размер выборки, число деревьев | Коэффициент корреляции УА $^{137}\text{Cs}$ (Бк/кг) и таксационного параметра для субстрата и высота отбора проб |                                  |                          |                          |                            |                                |                                |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                                | Древесина                                                                                                        |                                  |                          | Кора, 1,3 м              |                            |                                |                                |
|                                | средний сбег ствола (см/м), 1,3 м                                                                                | средний сбег ствола (см/м), 3,4h | высота дерева (м), 1,3 м | высота дерева (м), 1,3 м | диаметр ствола (см), 1,3 м | протяженность кроны (м), 1,3 м | класс физиол. состояния, 1,3 м |
| 10                             | 0,417                                                                                                            | 0,313                            | -0,317                   | -0,537                   | -0,459                     | -0,642                         | 0,311                          |
| 15                             | 0,447                                                                                                            | 0,330                            | -0,322                   | -0,450                   | -0,542                     | -0,495                         | 0,550                          |
| 20                             | 0,416                                                                                                            | 0,425                            | -0,365                   | -0,367                   | -0,479                     | -0,442                         | 0,389                          |
| 25                             | 0,423                                                                                                            | 0,438                            | -0,362                   | -0,251                   | -0,403                     | -0,447                         | 0,438                          |
| 30                             | 0,415                                                                                                            | 0,403                            | -0,279                   | -0,464                   | -0,486                     | -0,570                         | 0,136                          |
| 35                             | 0,343                                                                                                            | 0,376                            | -0,264                   | -0,394                   | -0,550                     | -0,510                         | 0,491                          |
| 40                             | 0,410                                                                                                            | 0,447                            | -0,349                   | -0,308                   | -0,421                     | -0,435                         | 0,446                          |
| 45                             | 0,338                                                                                                            | 0,329                            | -0,246                   | -0,441                   | -0,444                     | -0,137                         | 0,244                          |
| 50                             | 0,292                                                                                                            | 0,336                            | -0,274                   | -0,437                   | -0,432                     | -0,141                         | 0,176                          |

Можно предположить, что влияние первого из названных факторов удастся уменьшить, включая в выборку деревья из разных мест пробной площади. В связи с отсутствием детального плана расположения модельных деревьев и карты загрязнения почвы пробной площади радионуклидом повторный анализ был осуществлен путем формирования выборок с помощью таблицы случайных чисел. Очевидно, что в связи с ограниченным количеством модельных деревьев более или менее случайными могут считаться выборки, включающие не более 25-30 деревьев. Тем не менее полученные результаты позволяют сделать определенные выводы.

Как видно из таблицы 2, и при случайном отборе проб абсолютные величины коэффициента корреляции УА  $^{137}\text{Cs}$  в древесине со сбегом ствола (отбор проб на высоте 1,3 м и 3/4h) и высотой дерева (отбор проб на высоте 1,3 м) уменьшаются при увеличении размера выборки: соответственно с 0,571 до 0,237, с 0,564 до 0,366 и с -0,507 до -0,260 при увеличении выборки с 10 до 30 деревьев. В тоже время сколько-нибудь отчетливая тенденция к изменению показателей связи УА  $^{137}\text{Cs}$  в коре на высоте 1,3 м с таксационными параметрами модельных деревьев при изменении размера выборки отсутствует.

Результаты исследования, по-видимому, говорят о том, что различия в степени радиоактивного загрязнения почвы в пределах локальных участков древостоев оказывают существенно большее влияние на удельное содержание радионуклида в древесине, нежели в коре. Характерно, что качественные характеристики корреляционных зависимостей при систематическом и случайном отборе проб в значительной мере совпали.

Таблица 2

**Показатели зависимости удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в древесине и коре сосны от таксационных параметров деревьев при случайном отборе проб**

| Размер<br>выборки,<br>число<br>деревьев | Коэффициент корреляции УА $^{137}\text{Cs}$ (Бк/кг) и таксационного параметра для субстрата и высота отбора проб |                                           |                                |                                |                                     |                                           |                                         |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
|                                         | Древесина                                                                                                        |                                           |                                | Кора, 1,3 м                    |                                     |                                           |                                         |
|                                         | средний<br>сбег ствола<br>(см/м), 1,3<br>м                                                                       | средний<br>сбег ствола<br>(см/м),<br>3,4h | высота<br>деревя (м),<br>1,3 м | высота<br>деревя<br>(м), 1,3 м | диаметр<br>ствола<br>(см), 1,3<br>м | протяжен-<br>ность<br>кроны (м),<br>1,3 м | класс<br>физиол.<br>состояния,<br>1,3 м |
| 10                                      | 0,571                                                                                                            | 0,564                                     | -0,507                         | -0,403                         | -0,407                              | -0,165                                    | -0,033                                  |
| 15                                      | 0,271                                                                                                            | 0,359                                     | -0,544                         | -0,524                         | -0,603                              | -0,323                                    | 0,412                                   |
| 20                                      | 0,219                                                                                                            | 0,112                                     | -0,236                         | -0,487                         | -0,399                              | -0,350                                    | -0,088                                  |
| 25                                      | 0,332                                                                                                            | 0,427                                     | -0,349                         | -0,436                         | -0,007                              | -0,151                                    | 0,088                                   |
| 30                                      | 0,237                                                                                                            | 0,366                                     | -0,260                         | -0,510                         | -0,384                              | -0,210                                    | -0,003                                  |
| 35                                      | 0,259                                                                                                            | 0,415                                     | -0,325                         | -0,422                         | -0,287                              | -0,100                                    | 0,418                                   |
| 40                                      | 0,287                                                                                                            | 0,291                                     | -0,222                         | -0,339                         | -0,410                              | -0,016                                    | 0,324                                   |
| 45                                      | 0,334                                                                                                            | 0,365                                     | -0,291                         | -0,420                         | -0,423                              | -0,139                                    | 0,169                                   |
| 50                                      | 0,292                                                                                                            | 0,336                                     | -0,274                         | -0,437                         | -0,432                              | -0,141                                    | 0,176                                   |

Исходя из малых значений коэффициента корреляции и его нестабильности для выборок разного размера в таблице 2, протяженность кроны и класс физиологического состояния, очевидно, следует отнести к малозначащим факторам в условиях данного конкретного эксперимента (отметим также незначительную вариабельность длины крон: средняя длина крон 10 деревьев с наибольшим диаметром ствола равна 10,54 м, а 10 деревьев с наименьшим диаметром – 10,73 м, а также малое количество сильно ослабленных и усыхающих деревьев: 3 из 50 модельных деревьев). К значимым можно отнести отрицательную связь УА  $^{137}\text{Cs}$  в коре на высоте 1,3 м с высотой дерева и диаметром ствола и УА  $^{137}\text{Cs}$  в древесине на высоте 1,3 м с высотой дерева. Положительная связь УА  $^{137}\text{Cs}$  в древесине на обоих высотных уровнях со сбегом ствола указывает на целесообразность отбора проб на загрязненность древесины радиоактивным цезием при отводе лесосек из деревьев сосны, у которых большой диаметр сочетается с относительно малой высотой ствола.